

Aus der ornithologischen Abteilung des Museum A. Koenig, Bonn
Prof. Dr. G. Niethammer

Die Bestimmung der Helmholtzkoordinaten von Feder- und Haarfarben im ICI (= IBK = CIE) System

von ERNST KNIPRATH

Herrn Prof. Dr. A. von Jordans zum 75. Geburtstag gewidmet

Moderne Farbmeßgeräte¹⁾ erlauben eine sehr einfache und schnelle Bestimmung der Koordinaten einer Farbe in einem dreidimensionalen Farbraum (zur genauen Darstellung des Farbraumes des ICI-Systems s. Bouma 1951, Lubnow und Niethammer 1963, Kniprath 1967). Durch Messung der jeweiligen Farbfläche mit drei verschiedenen Farbmeßfiltern erhält man drei Remissionswerte (RX,RY,RZ). Aus diesen ergeben sich durch eine einfache Umrechnung die Raumkoordinaten der gemessenen Farbe (über das Verfahren der Auswahlkoordinaten s. Lubnow und Niethammer 1963 und Dyck 1966). Da diese Koordinaten jedoch keinen Eindruck davon vermitteln, um welche Farbe es sich gehandelt hat, ist meist eine Umrechnung in die als „Helmholtzkoordinaten“ bekannten Farbwerte: Helligkeit (= Leuchtdichte = B), Sättigung (= Farbdichte = p) und Wellenlänge (= λ) wünschenswert. (Gall und Valet beschrieben 1962 die Anfertigung von Nomogrammen, mit deren Hilfe Wellenlänge und Farbdichte in engeren Bereichen schnell und einfach graphisch ermittelt werden können.)

Die zur Umrechnung notwendigen Formeln wurden für den Fall, daß mit einer Lichtquelle mit der Mittelpunktsvalenz $x = 1/3$ und $y = 1/3$ gearbeitet wird, mitgeteilt (Kniprath 1967). Da jedoch in den meisten Farbmeßgeräten die Lichtart C mit der Mittelpunktsvalenz $x = .3101$ und $y = .3163$ verwendet wird seien hier die entsprechenden Formeln genannt:

Für die Lichtart C gilt (nach Gall und Valet 1962):

$$(1) \quad X = .782 \text{ RX} + .193 \text{ RZ}$$

$$(2) \quad Y = 1.000 \text{ RY}$$

$$(3) \quad Z = 1.181 \text{ RZ}$$

Aus Y erhält man B durch Multiplikation mit einem Faktor, der nur geringfügig von 1 verschieden ist. Diese Berechnung ist nicht notwendig, da Y ein hinreichend genaues Maß für B ist. Für die Helligkeit wird in der Literatur stets Y angegeben. Zu Ermittlung von λ und p wird der Farbpunkt in die Basisebene des Farbraumes projiziert. Über die Gleichungen

$$(4) \quad x = X/(X+Y+Z)$$

$$(5) \quad y = Y/(X+Y+Z)$$

$$(6) \quad z = Z/(X+Y+Z)$$

¹⁾ z. B. das ElRePho der Fa. Zeiss, das im Museum A. Koenig benutzt wird.

erhält man die Eichreizanteile (= trichromatische Koordinaten) x , y , z des Farbpunktes. Die Berechnung von z erübrigt sich, da ein Punkt in der Ebene bereits durch zwei Koordinaten hinreichend benannt ist. Durch einen der beiden Quotienten

$$(7a) \quad Q = (x - .3101) / (y - .3163)$$

$$(7b) \quad Q = (y - .3163) / (x - .3101)$$

(der sich ergebende Wert muß der Bedingung $0 < |Q| < 1$ genügen) wird die Steigung (oder deren Kehrwert) der durch den Farbpunkt und den Weißpunkt der Farbebene laufenden Geraden bestimmt. Der Schnittpunkt dieser Geraden mit dem Spektralfarbenzug oder der Purpurlinie gibt die gesuchte farbtongleiche Wellenlänge an. Da der genannte Quotient für jede Wellenlänge charakteristisch ist, kann diese nach jenem aus einer geeigneten Tabelle entnommen werden (z. B. Judd 1933 oder die folgende Tabelle). Wurde mit Gleichung **7a** (**7b**) gerechnet, so findet sich der erhaltene Wert in Spalte 2 (3) der nachfolgenden Tabelle. Innerhalb dieser Spalte kommt jeder Wert Q zweimal vor: Die zu jeder Farbe gehörende Komplementärfarbe liegt auf derselben Geraden durch den Weißpunkt wie diese, hat also auch denselben Quotienten. Die Entscheidung, welche der beiden möglichen Wellenlängen die gesuchte ist, wird durch folgende Bedingungen bestimmt: A) Der aus (**4**) errechnete Wert muß zwischen .3101 und der x -Koordinate der Spektralfarbe (in Spalte 4 der nachfolgenden Tabelle) liegen, oder mit dieser identisch sein; gleichzeitig muß B) der aus (**5**) erhaltene Wert zwischen .3163 und dem y_s der Spektralfarbe (Spalte 7), oder gleich diesem sein.

Es bleibt die Ermittlung der Sättigung. Dazu stehen drei Quotienten zur Auswahl:

$$(8a) \quad p = y_s (y - .3163) / (y_s - .3163) / y$$

$$(8b) \quad p = y_s (x - .3101) / (x_s - .3101) / y$$

$$(8c) \quad p = y_s (z - .3736) / (z_s - .3736) / y$$

Dabei sind x_s , y_s und z_s die Koordinaten der ermittelten spektralen Wellenlänge (Tabelle Spalte 4 und 7). In den meisten Fällen ist (**8a**) geeignet. Liegt jedoch y_s sehr nahe bei .3163, so nimmt man besser (**8b**), da bei Verwendung von (**8a**) Zähler und Nenner sehr klein und nicht genau bekannt wären: (**8b**) erlaubt dann eine exaktere Bestimmung von p .

Die zitierte Tabelle von Judd ist schwer zugänglich und daher in der biologischen Literatur bisher offenbar nicht erwähnt. Zudem enthält sie nur den Bereich von 380—780 μm , nicht jedoch die Purpurfarben (= Mischfarben aus Blau und Rot). Um beide Mängel zu beseitigen, wird die durch die Werte des Purpurbereichs ergänzte Tabelle vorgelegt. Weiterhin sind in sie in Spalte 5 und 8 die zur Berechnung von p notwendigen Differenzen $x_s - .3101$ und $y_s - .3163$ eingefügt. Alle Daten des Purpurbereichs sowie die Spalten 5 und 8 insgesamt wurden auf der IBM 7090 im Mathematischen Institut

der Universität Bonn errechnet. Als Purpurgerade (= Linie der reinen Purpurfarben) wurde die Gerade durch den Farbpunkt der beiden Extremfarben des sichtbaren Spektrums $380 \mu\text{m}$ und $780 \mu\text{m}$ mit den Koordinaten $x = .17410$ und $y = .00500$ bzw. $x = .73467$ und $y = .26533$ angenommen.

In einer Zeile der nachfolgenden Tabelle sind somit die zu jeder Wellenlänge gehörenden Quotienten (aus Gleichung (7a) und (7b)) und die zur Ermittlung des Sättigungswertes innerhalb jeder Wellenlänge notwendigen Konstanten enthalten.

Da das Transformieren der Remissionswerte in die Helmholtzkoordinaten bei einer größeren Zahl von Messungen auch bei Benutzung einer guten Tischrechenmaschine sehr viel Zeit in Anspruch nimmt, wurde das ganze Verfahren für Elektronenrechner programmiert (Fortran II). Das Programm befindet sich beim Verfasser.

Das beschriebene Verfahren birgt für den zoologischen Systematiker einen großen Vorteil: Wurden bisher auf den Etiketten der Sammlungsexemplare nur Längenmaße des frischtoten Tieres angegeben, so ist es jetzt möglich, dazu noch Farbwerte (entweder die Remissionswerte oder die bereits transformierten Daten) festzuhalten. Diese sind dann jederzeit für eine systematische Bearbeitung greifbar. Es schadet dann nichts mehr, wenn sich die Farbe eines Balges nach langer Lagerung ändert.

Herrn Dipl. Phys. H. Loof, Zeisswerk Oberkochen, danke ich für die freundliche Überlassung der Tabelle von Judd und wertvolle Hinweise auf weitere Literatur. Danken möchte ich auch den Herren Dipl. Phys. H. Martin und E. Vorwerk, Mathematisches Institut der Universität Bonn, die mir bei der Erstellung des Fortranprogrammes halfen.

Summary

This paper describes an important method for a systematic zoological and ecological investigation of the dependence of feather and hair colours on environmental factors.

The application of modern electric remission photometers makes it possible to obtain an exact numerical value — by means of a digital three figure system — of the colour of a bird or mammal under investigation and thus to be independent of discolouration which may occur during the subsequent time.

It is shown for illuminant C, which is normally used in photometers, how to transform the remission values R_X , R_Y , R_Z into the more perceptible Helmholtz coordinates B (brightness, as represented by Y), p (saturation = chroma), and λ (dominant wave length = hue). Based on a system as published by Judd in 1933, all constants required for the transformation of the remission values into Helmholtz coordinates are summarized in tables which cover — in steps of one μm — the visible range of the spectrum (380 to

780 μm) and the purple range (-492.3691 to $-567.0468 \mu\text{m}$) respectively. The method described makes full use of the conventions of the International Council of Illumination (ICI) and thus renders itself suitable to uniform the results of colour investigation and to make them comparable with each other.

As manual or even mechanical transformation of the data of more than some ten individuals takes too much time, the whole procedure was programmed for the IBM 7090 computer in Fortran II. The author will be glad to supply with any additional information on the program on request.

Schrifttum

- Bouma, P. J. (1951): Farbe und Farbwahrnehmung. — N. V. Philips Gloeilampenfabrieken Eindhoven (Holland).
- Dyck, J. (1966): Determination of Plumage Colours, Feather Pigments and -Structures by Means of Reflection Spectrophotometry. — Dansk Orn. For. Tidsskr. 60, p. 49—76.
- Gall, L., und G. Valet (1962): Nomographische Rechenhilfsmittel bei der Auswertung von Farbmessungen an Körperfarben. — Farbe und Lack 68, p. 374—380.
- Judd (1933): The 1931 I. C. I. Standard Observer and Coordinate System for Colorimetry. — JOSA 23, p. 369—372.
- Kniprath, E. (1967): Untersuchungen zur Variation der Rückenfärbung der beiden Meisen *Parus montanus* und *Parus palustris*. — J. Orn. 108, p. 1—46.
- Lubnow, E., und G. Niehammer (1963): Zur Methodik von Farbmessungen für taxonomische Untersuchungen. — Verh. Deutschen Zool. Ges. München, p. 646—663.